

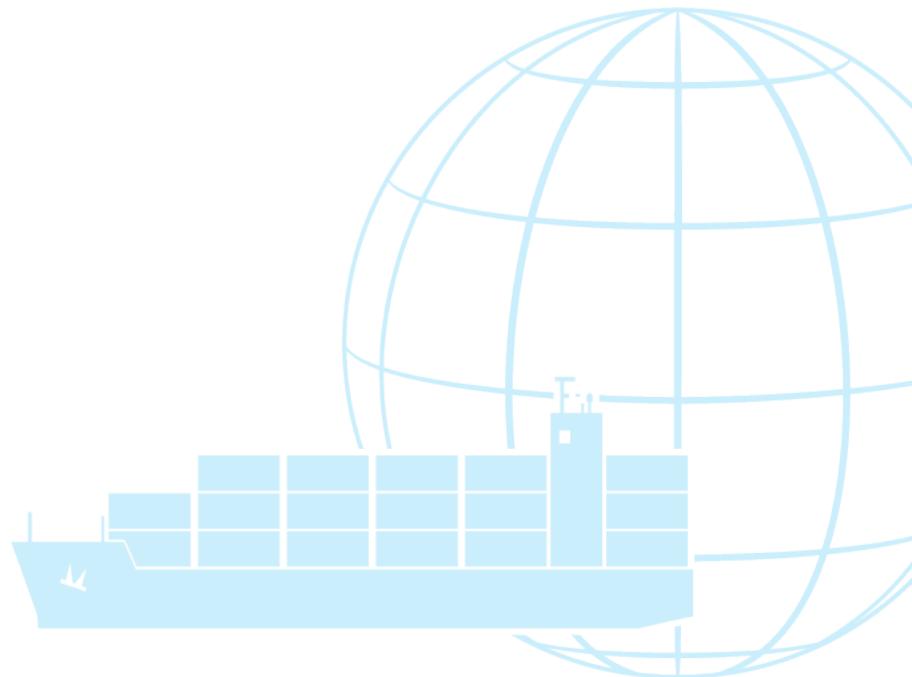
舶用実機スケールの燃焼可視化による 次世代燃料研究の取り組み

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

海上技術安全研究所

環境・動力系 環境エンジン研究グループ

主任研究員 川内 智詞



研究背景



- IMOにおけるGHG排出削減目標によって、厳しい排出削減が求められており、その達成に向けて代替燃料への燃料転換とエンジンでの利用が鍵となっている。
- 燃焼時にCO₂を排出しない水素やアンモニアや、化石燃料を用いずに製造されるメタノールなどの燃料利用が注目されている。
- これらの燃料は、重油とは燃焼性が大きく異なり、各燃料固有の技術的課題が存在する。
 - e.g. • 難燃性を有するアンモニアを安定的に着火・燃焼させる手法の確立
 - アンモニア中の窒素分に起因する N₂OおよびNO_x排出の抑制
 - 少量のパイロット燃料でも確実な着火を実現する燃焼方式
 - 高い熱効率の実現
- 燃料利用によって生じる、エンジン側での新たな課題への対応が求められている。



□ 燃料多様化時代のエンジン開発において…

課題

- 実機試験では大量の燃料が必要で、試験コストが高くなる。
- エンジンとその周辺設備は大規模で、パラメータ変更に伴う費用や製作期間が増大する。
- 水素やアンモニアは取り扱いが難しく、安全対策やインフラ整備の負担が大きい。

要求

- 多様な燃料を、効率よく、低コストに評価可能
- 性能に影響するパラメータの変更が容易
- 実機では困難な詳細な現象評価が可能

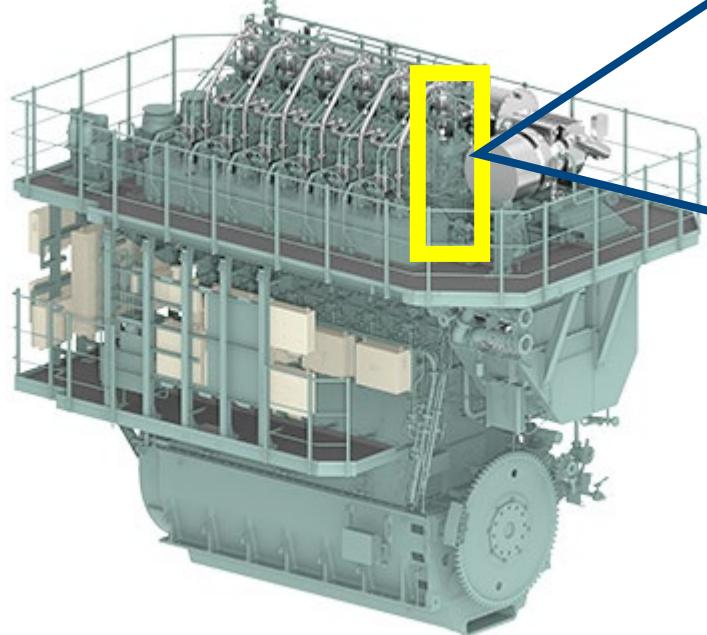
実機内燃焼過程を、フルスケールで
再現する可視化定容容器を開発した。

研究背景

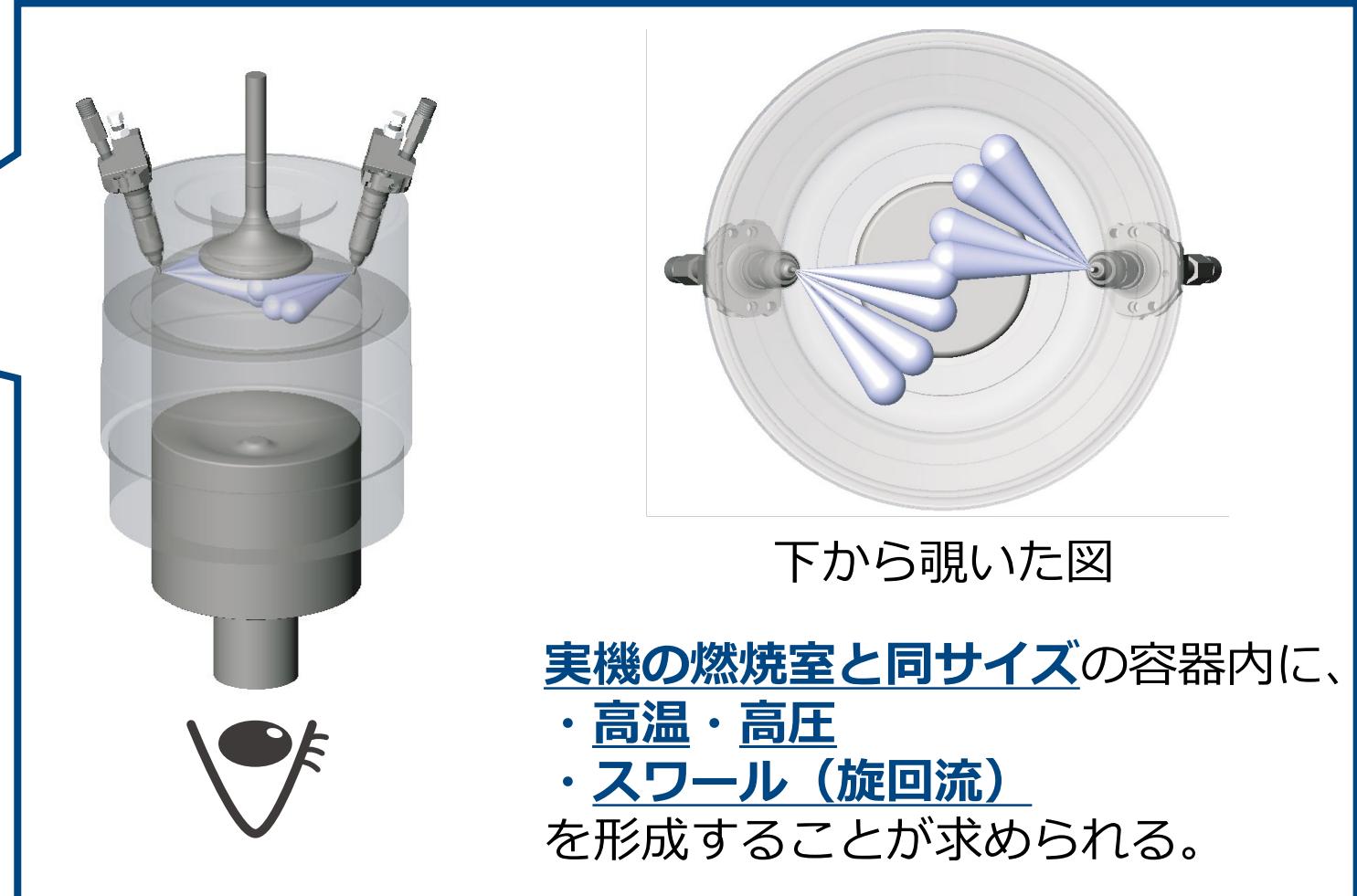


□ 次世代燃料の実機内燃焼過程を再現するために…

船用エンジン

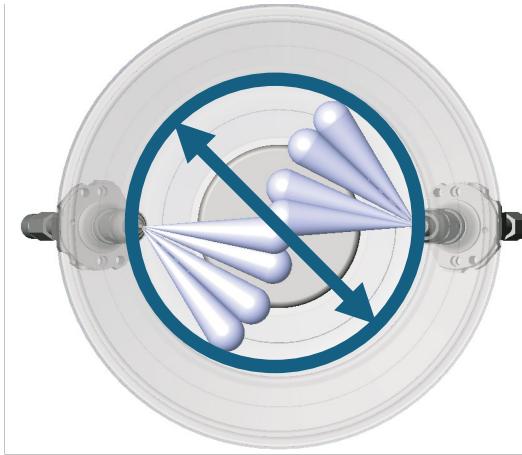


写真：J-ENG公式ホームページより引用

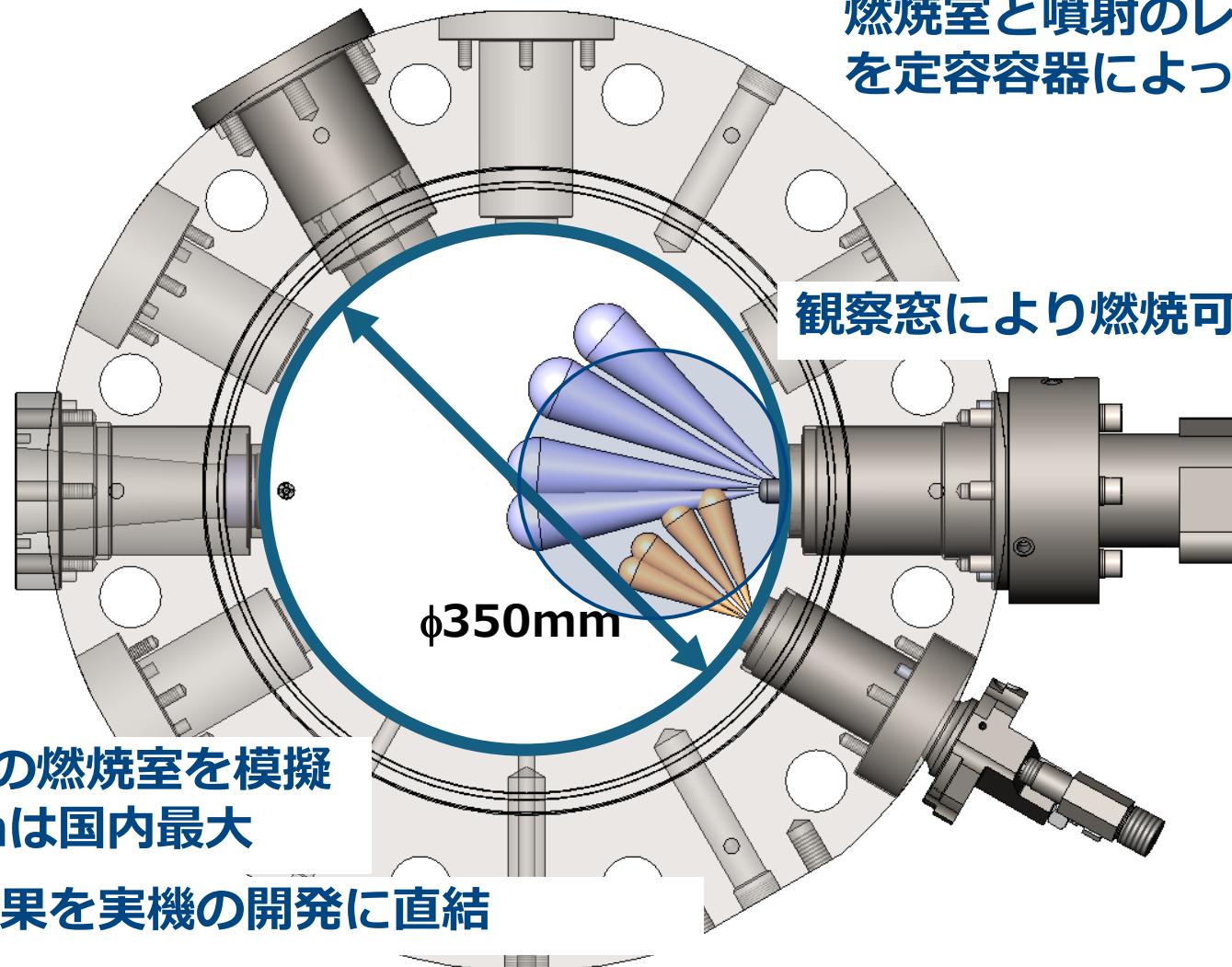


実機の燃焼室と同サイズの容器内に、
・高温・高圧
・スワール（旋回流）
を形成することが求められる。

可視化定容器の開発コンセプト



下から覗いた図



2stエンジンの燃焼室を模擬
直径350mmは国内最大

→ 試験結果を実機の開発に直結

可視化定容器の開発コンセプト



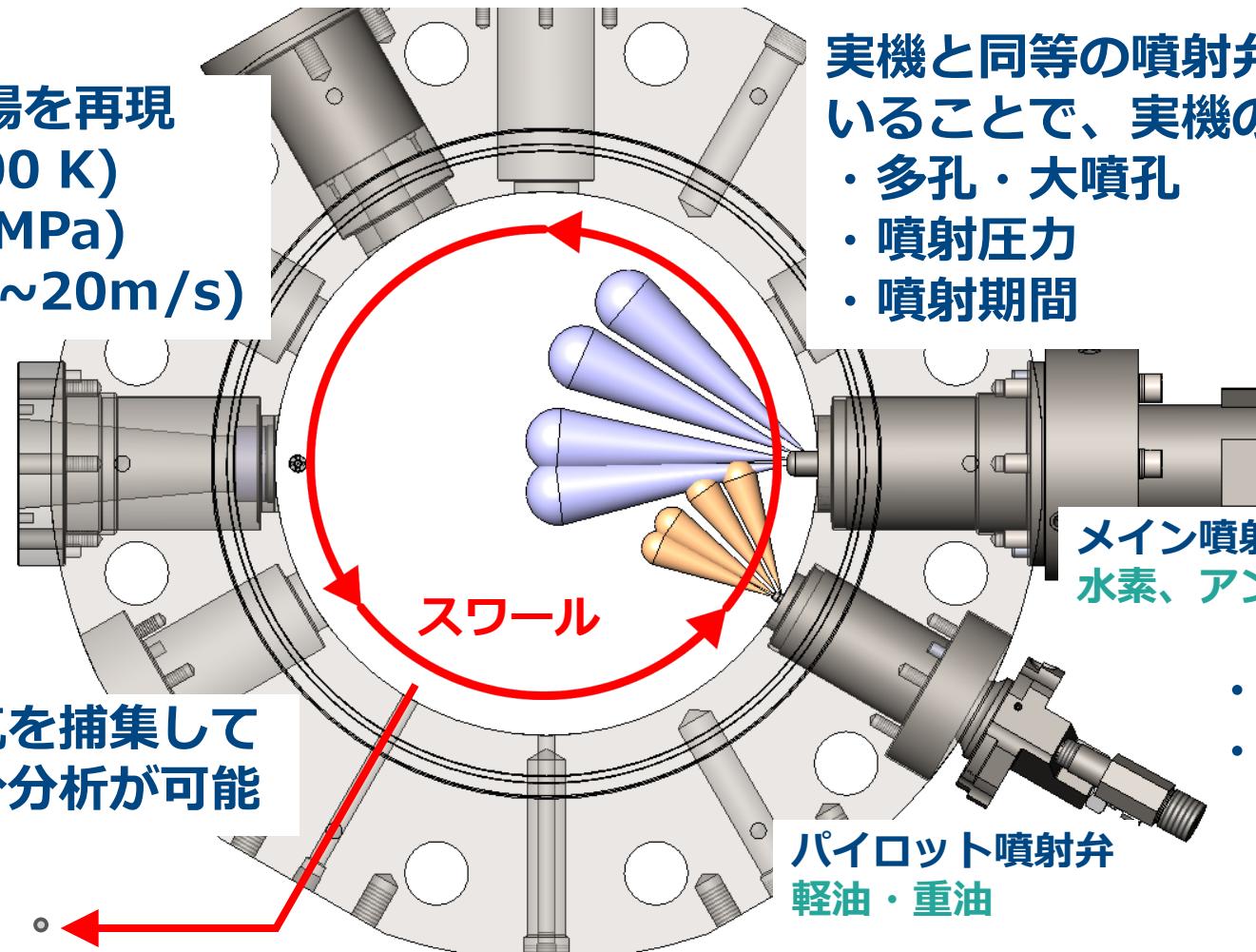
2ストローク機関の燃焼状態を再現し、その性能を可視化により評価できる国内で唯一の実験装置

実機相当の雰囲気場を再現

- ・温度 (常温~1100 K)
- ・圧力 (Max. 20 MPa)
- ・スワール流速 (0~20m/s)

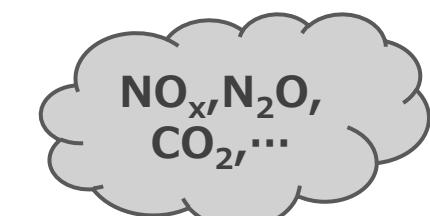
実機と同等の噴射弁・油圧系統を用いることで、実機の噴射条件を再現

- ・多孔・大噴孔
- ・噴射圧力
- ・噴射期間



メイン噴射弁
水素、アンモニア、メタノールなど

- ・次世代燃料に対応
- ・デュアルフルフュエル式



開発の進展過程



- 所内研究に加えて、(株)ジャパンエンジンコーポレーションとの共同研究を通じて整備



2022年7月に
開発を開始

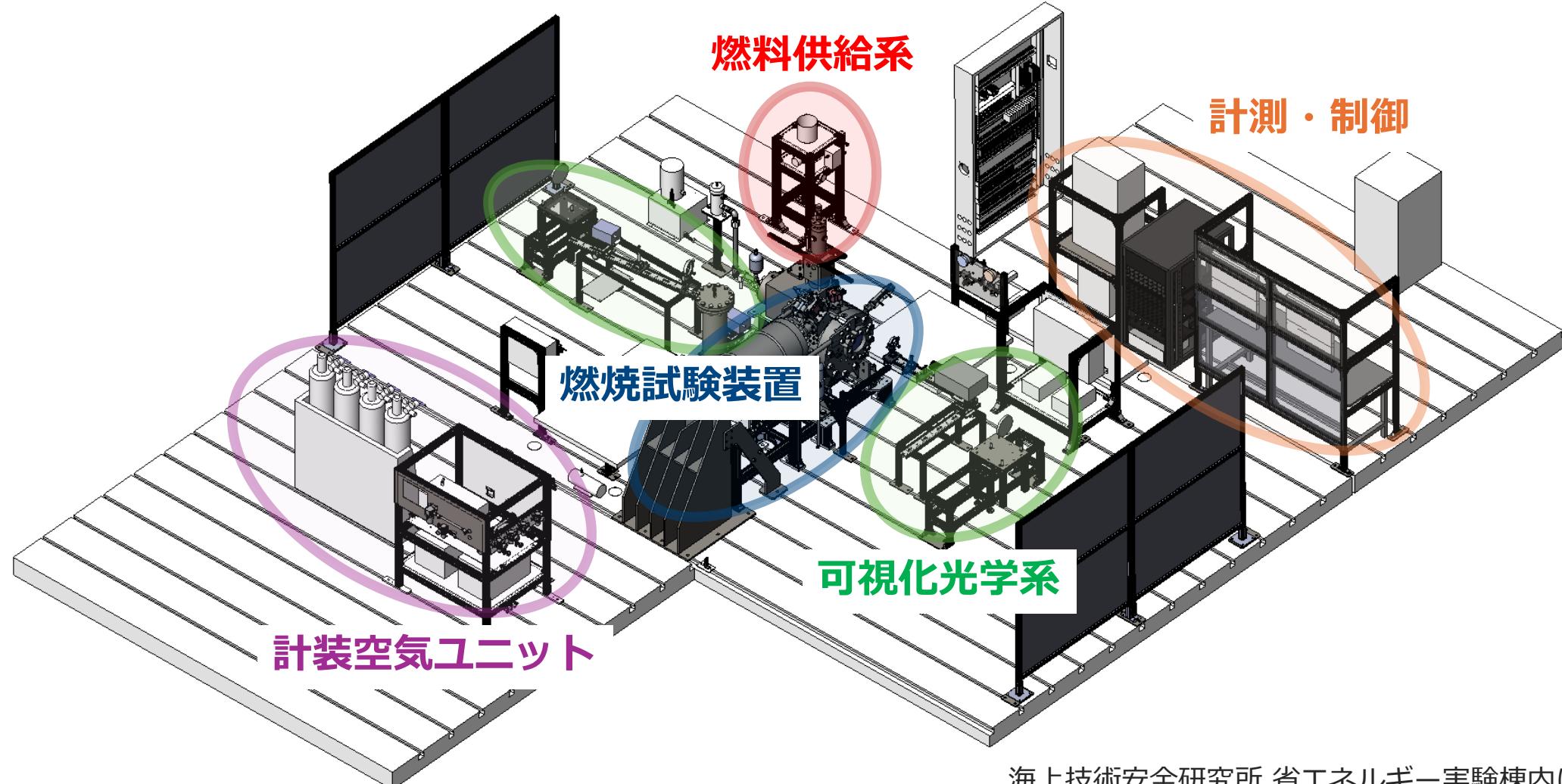


2024年6月
水素・軽油の燃焼試験に成功

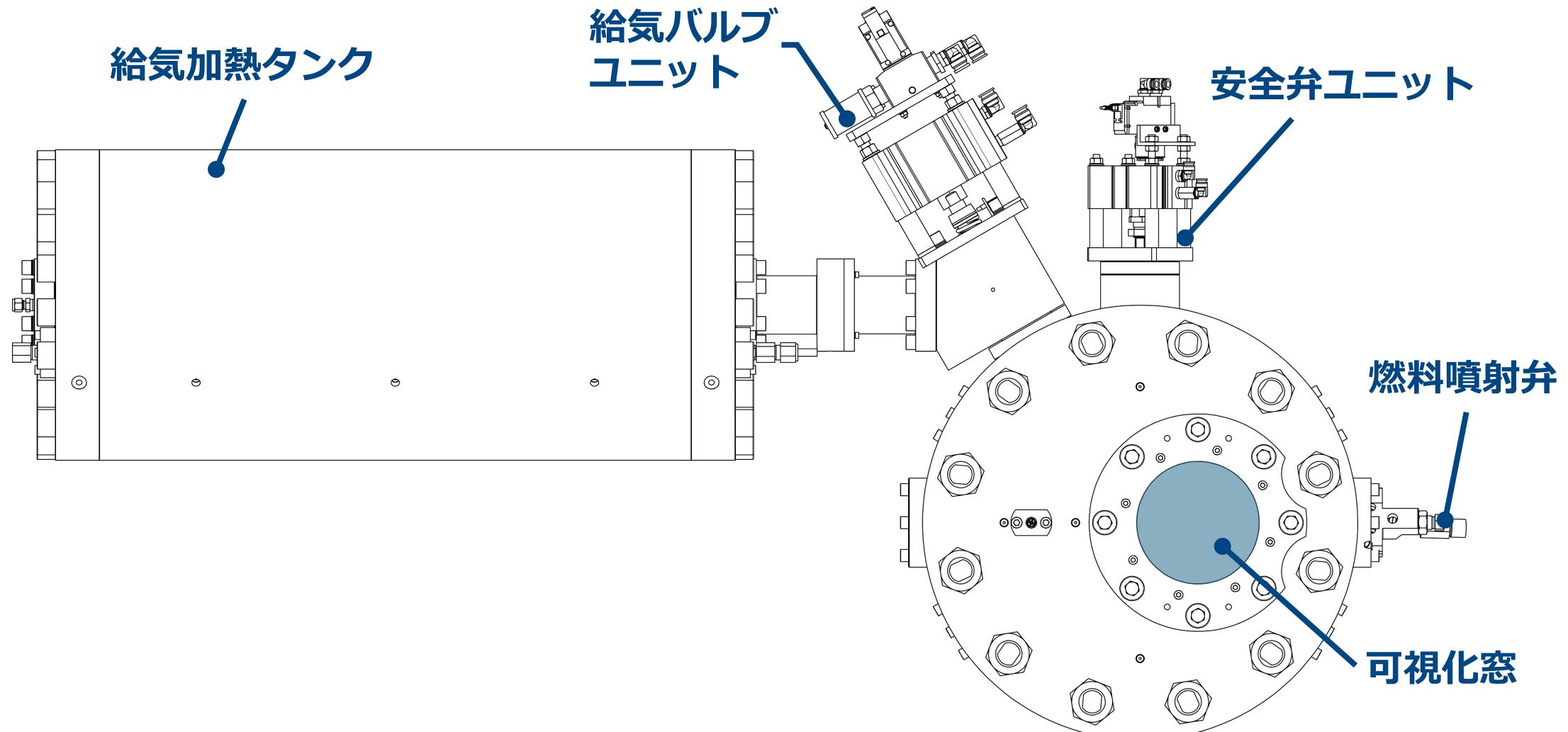


2025年3月
可視化・排気計測を
統合した開発を完了

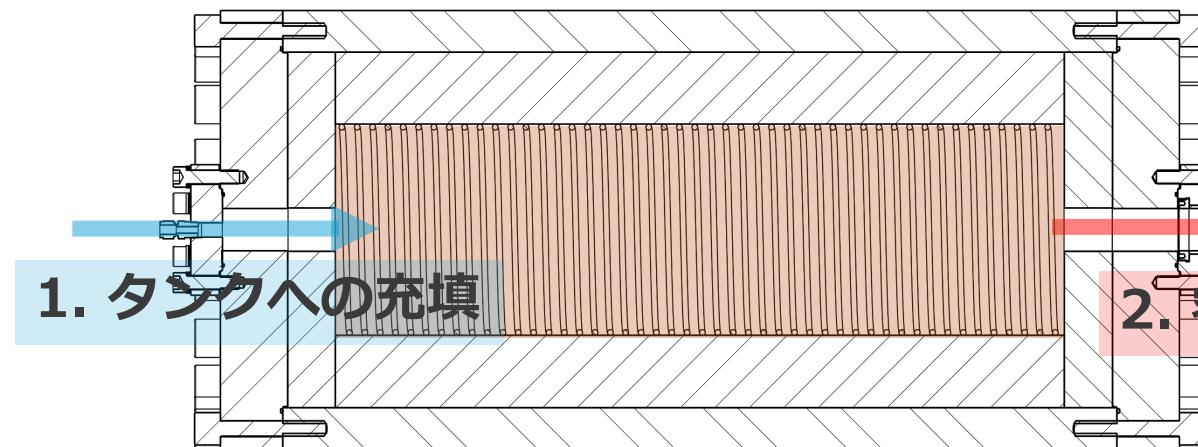
設備全体構成



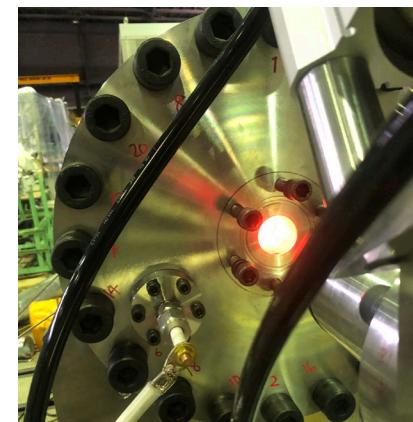
燃焼試験装置外観図



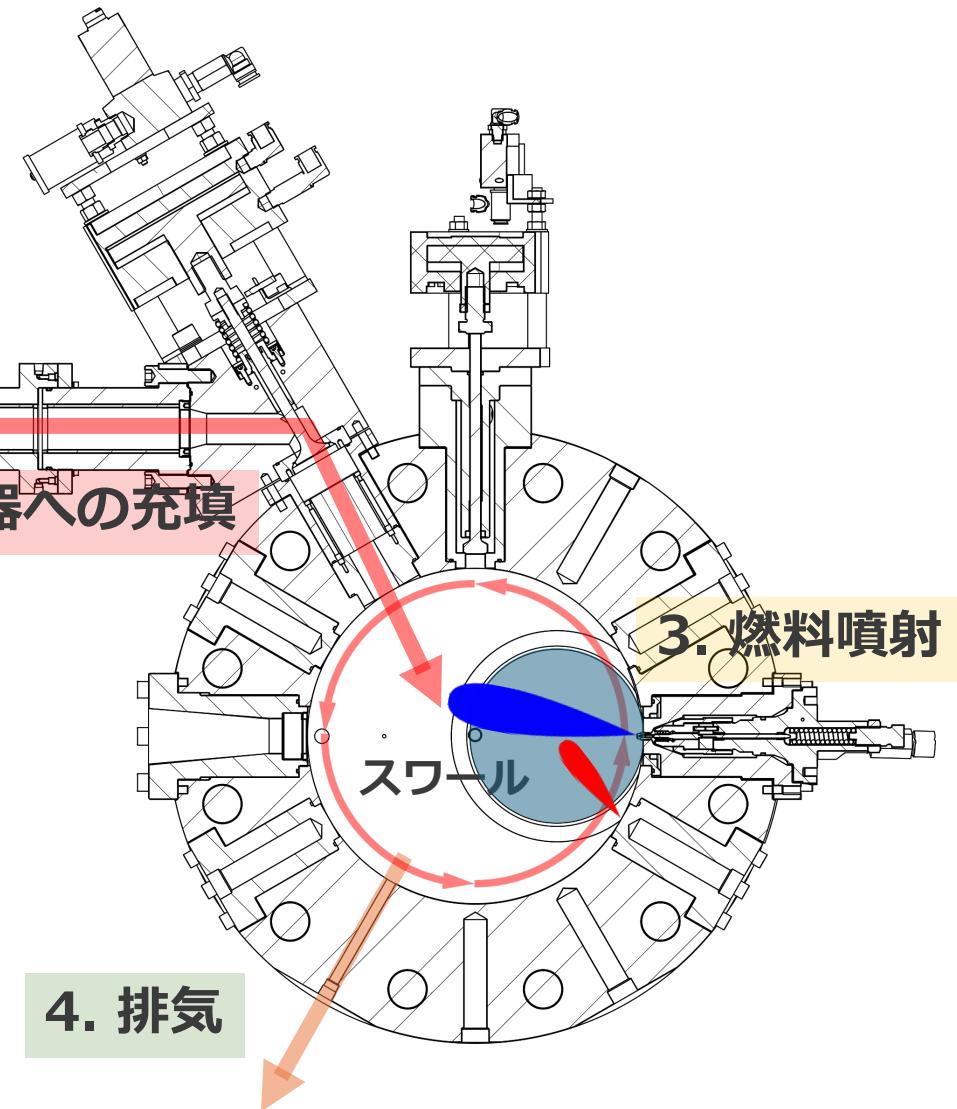
燃焼試験装置動作原理



1. タンクへの充填



2. 容器への充填

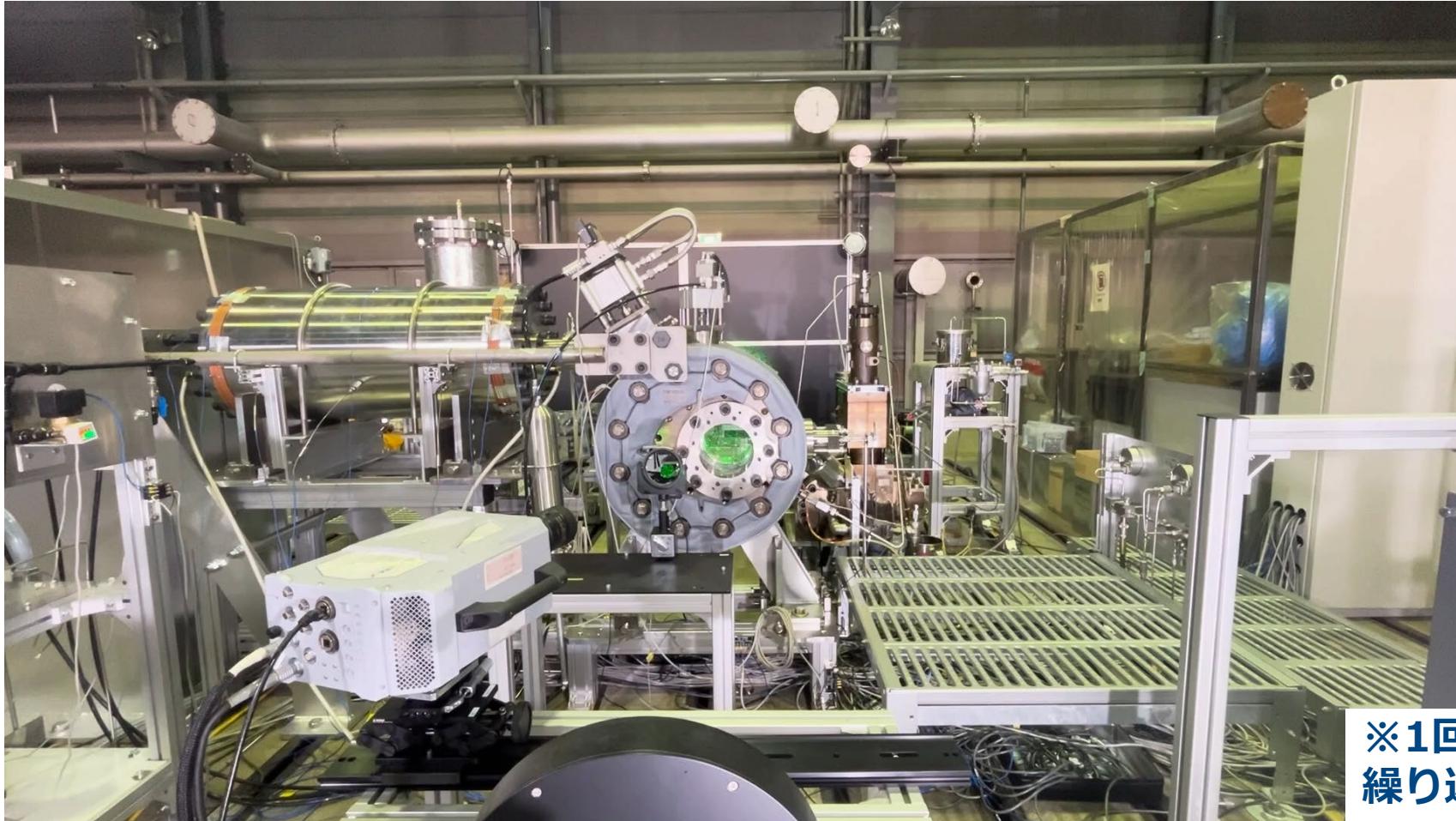


3. 燃料噴射

燃焼試験の様子 1 (全体撮影)



- 暖機などのセットアップ完了後、**給気・燃焼・排気の一連の試験工程**は、**約1秒**で完了



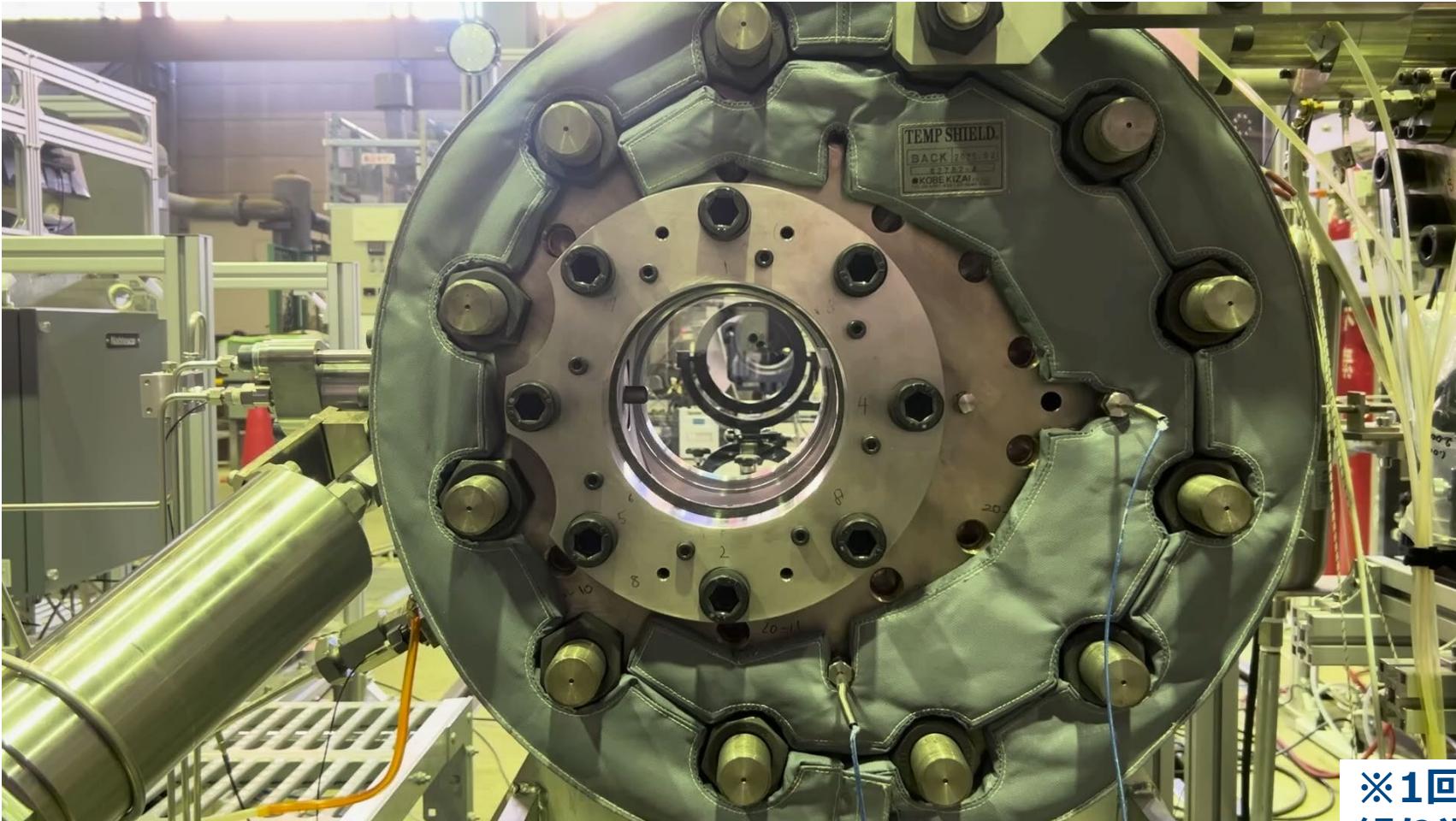
動画

※1回の燃焼試験を
繰り返し再生

燃焼試験の様子 2 (近接撮影)



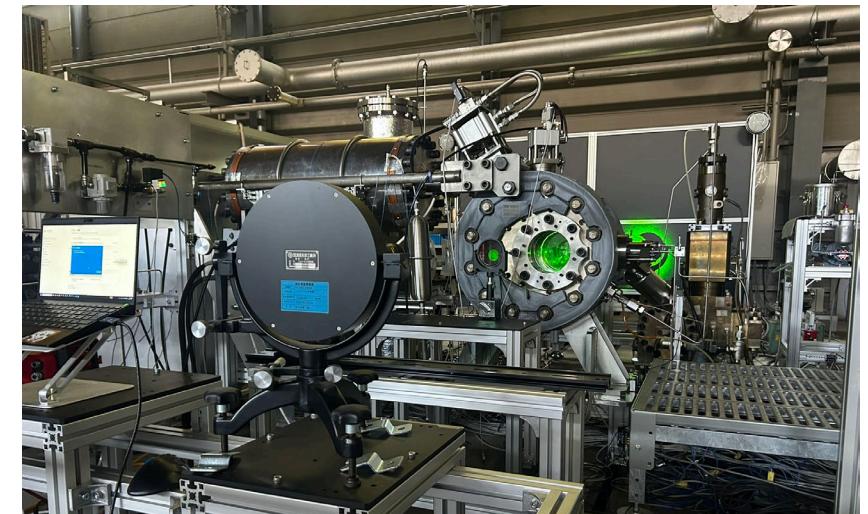
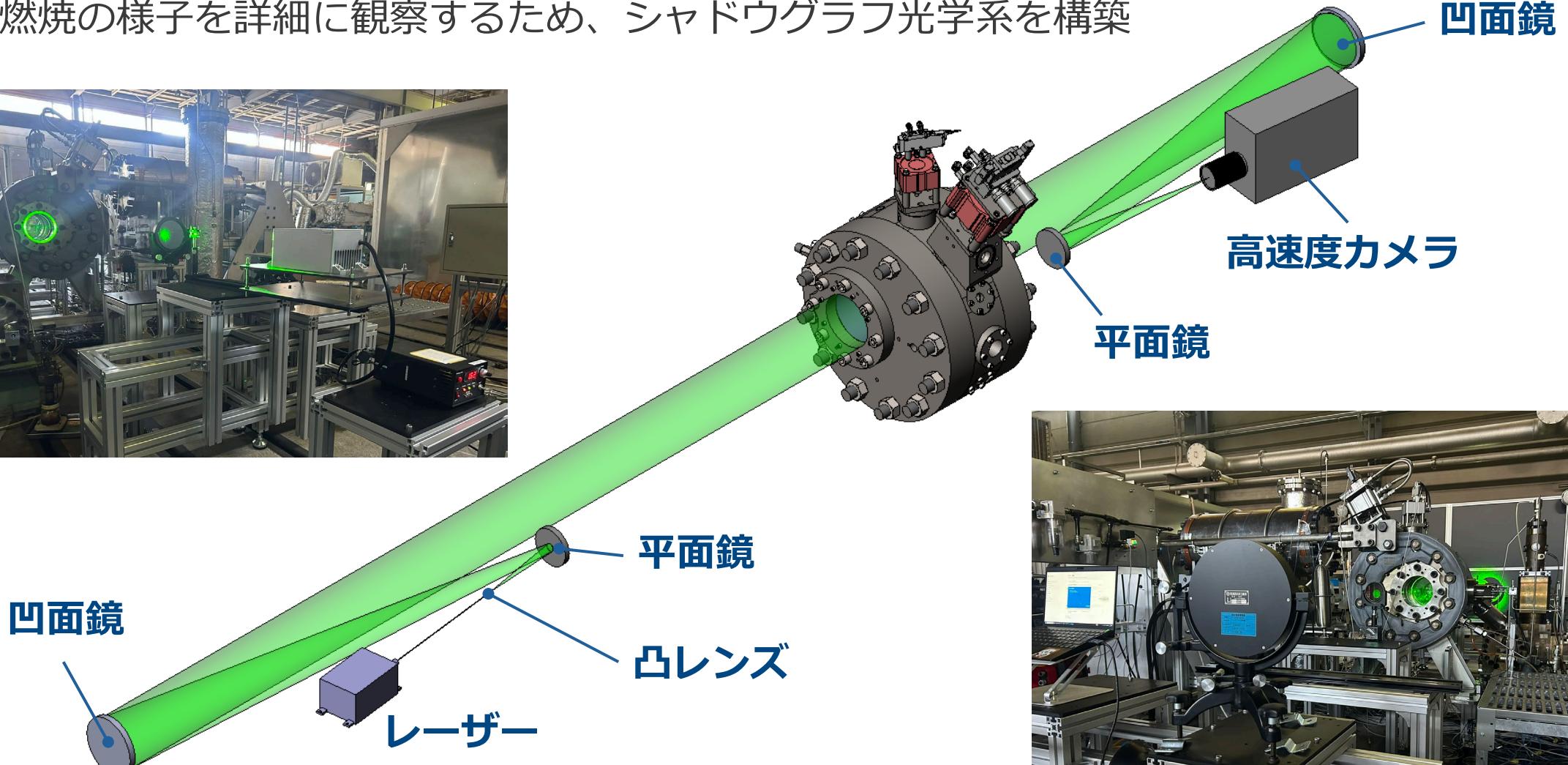
動画



※1回の燃焼試験を
繰り返し再生

可視化のための光学系レイアウト

- 燃焼の様子を詳細に観察するため、シャドウグラフ光学系を構築

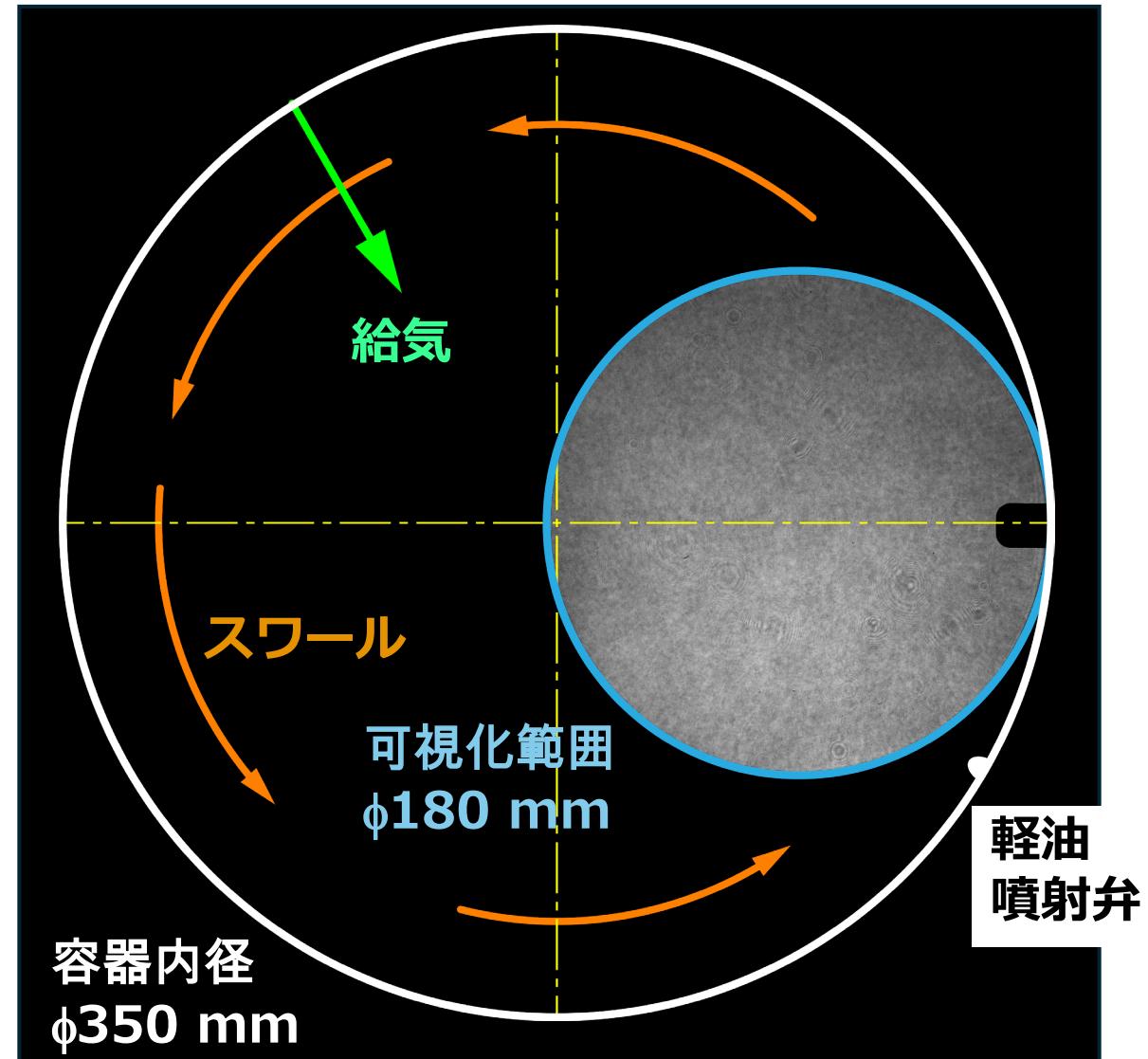


給気から燃焼までのデモ動画

燃料：軽油

撮影速度：20,000 fps (= 時間分解能 0.05 ms)

撮影期間：給気 - 燃焼までの約0.3秒間





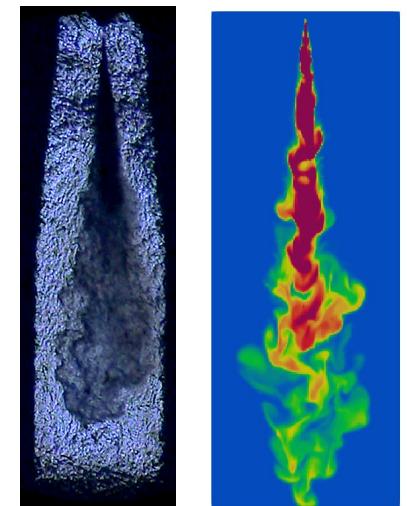
条件設定の自由度の高さと可視化計測による実機再現環境での次世代燃料の評価によって…

□ エンジン性能向上に資する現象解明を行う装置として

- パイロット燃料を最小化した条件での着火・燃焼安定性の評価
- 低エミッション (NOx, N₂O) 燃焼を実現する燃焼制御手法の導出
- パイロット燃料が不要となるゼロエミ燃焼を成立させる熱力学条件の探索

□ シミュレーションの精度向上に資する検証データを取得する装置として

- 既存数理モデルにおけるモデル定数の最適化
- 次世代燃料に適合した新規数理モデルの開発



装置の活用シナリオ



条件設定の自由度の高さと可視化計測による実機再現環境での次世代燃料の評価によって…

□ エンジン性能向上に資する現象解明を行う装置として

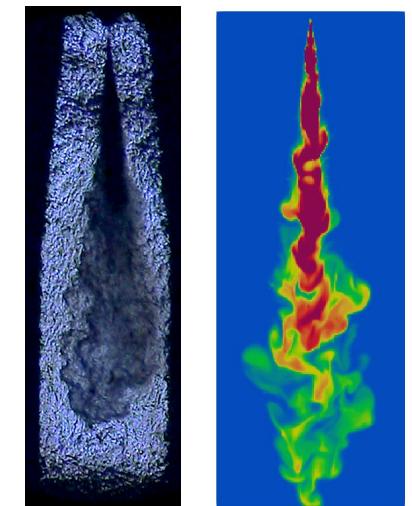
- パイロット燃料を最小化した条件での着火・燃焼安定性の評価

船舶実機条件（熱力学条件・旋回流場・多孔）を再現した水素燃焼の可視化を世界で初めて実現

の探索

□ シミュレーションの精度向上に資する検証データを取得する装置として

- 既存数理モデルにおけるモデル定数の最適化
- 次世代燃料に適合した新規数理モデルの開発



結果例 極小パイロット噴射による水素の安定着火に関する研究



- CO₂の排出源となるパイロット燃料を最小化した場合において、点火源となる火炎塊がどこまで拡散可能か、また水素の安定着火をもたらす火種となり得るかを可視化により確認

※講演資料の一部情報を削除しております

実機を想定した噴射方向・
噴孔径・噴射圧力を設定

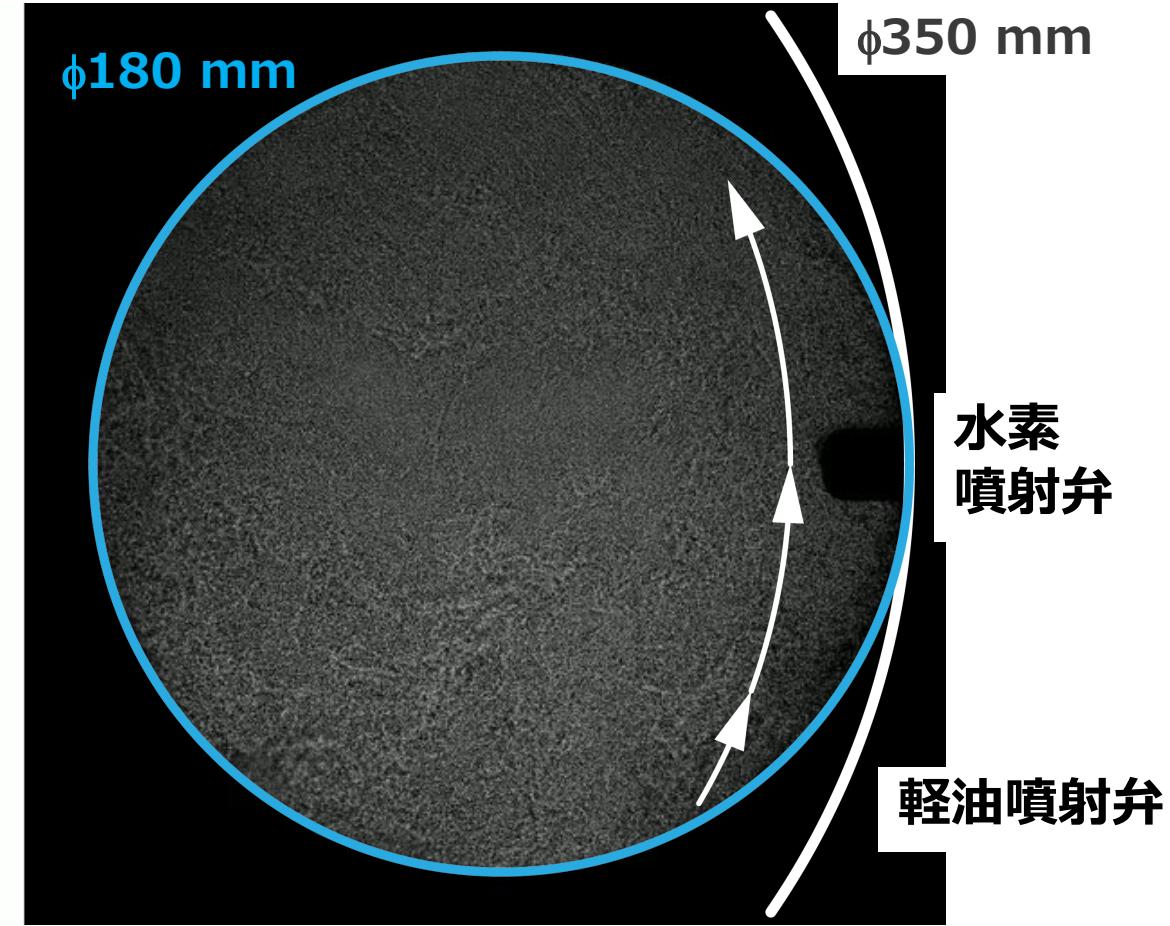
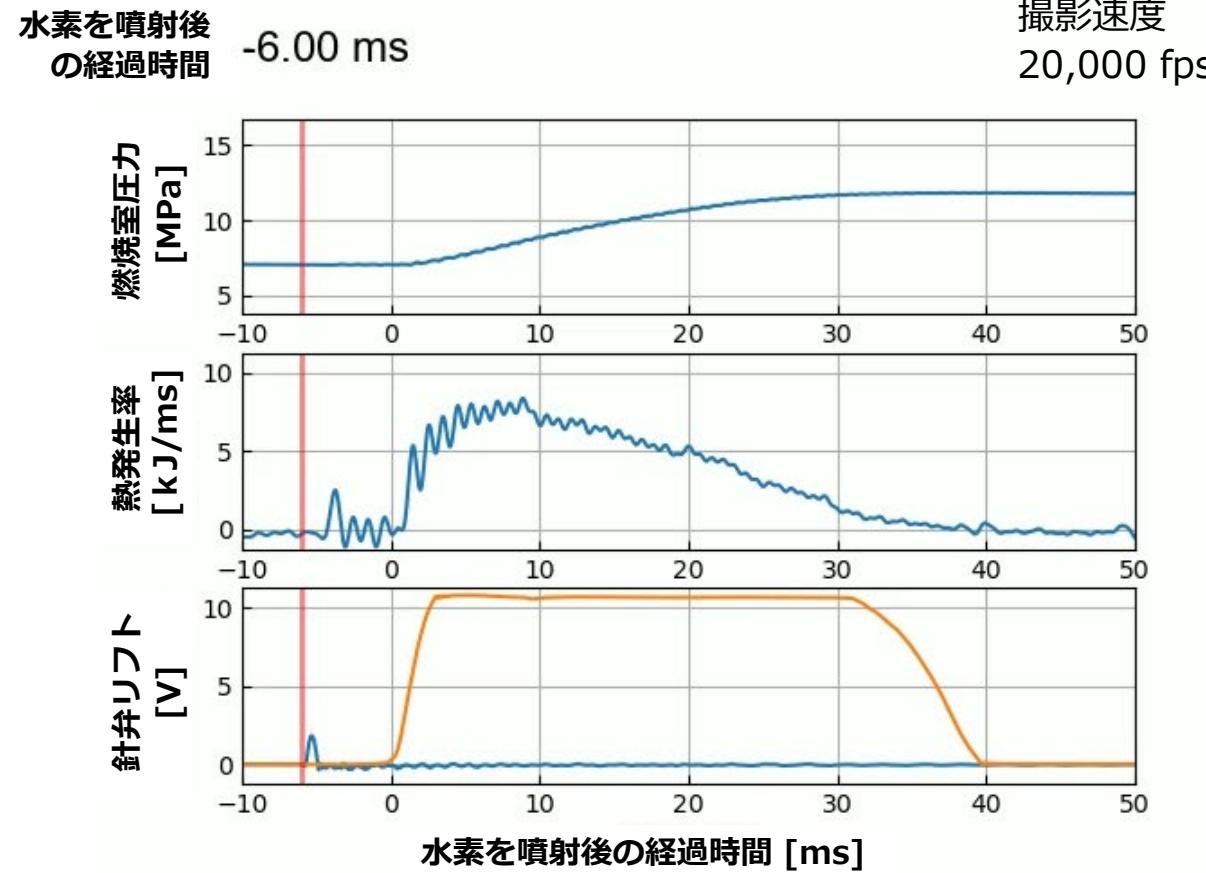
実機を想定した温度・圧力・スワール
流速を設定

結果例 極小パイロット噴射による水素の安定着火に関する研究



- 軽油と異なり、煤を排出しない水素は、発光を伴わない影画像として可視化される。

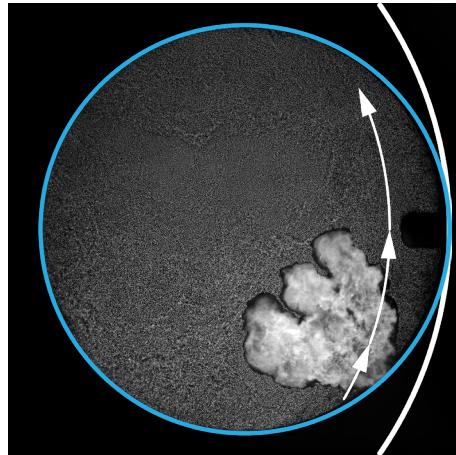
動画



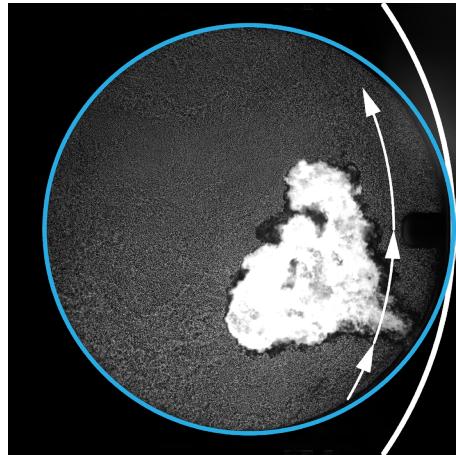
結果例 極小パイロット噴射による水素の安定着火に関する研究



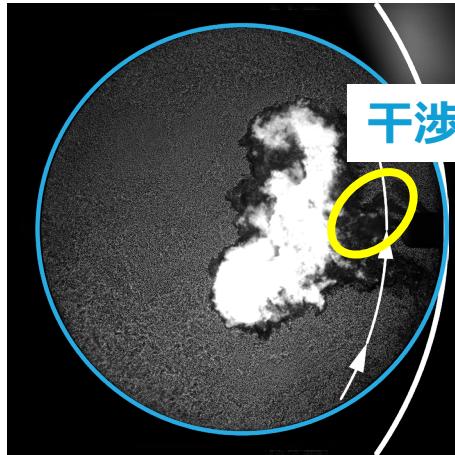
水素噴射後の
経過時間



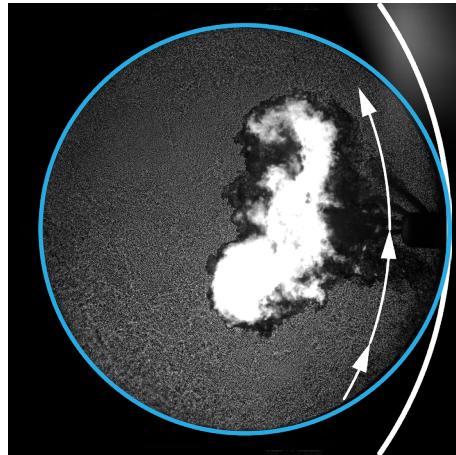
-2.7 ms



-0.7 ms

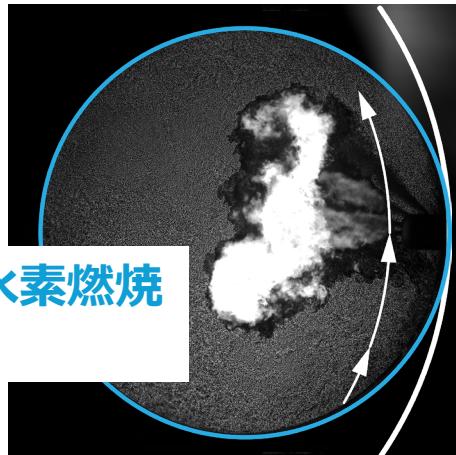


1.3 ms



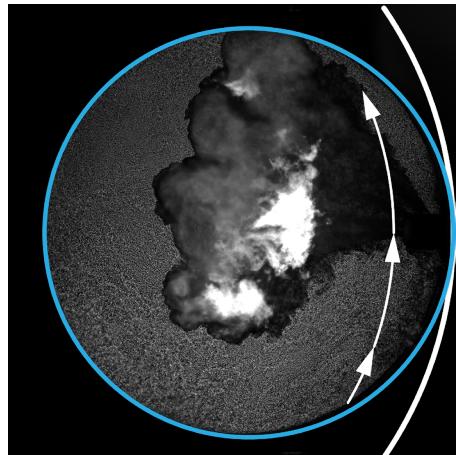
1.55 ms

スムーズな水素燃焼
への移行

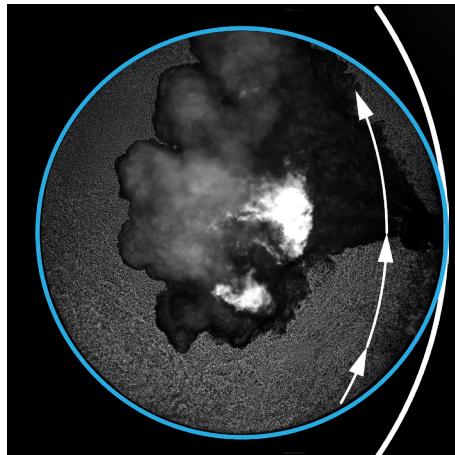


水素噴射後の
経過時間

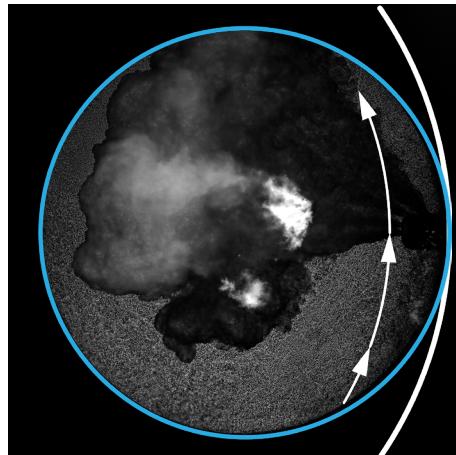
1.8 ms



2.8 ms



3.3 ms



3.8 ms



まとめ

- GHG削減を背景に進められる燃料転換に対応するため、実機内燃焼過程を効率的かつ詳細に評価する燃焼試験装置を開発した。
- 水素を対象とした燃焼試験を実施し、舶用実機相当の燃焼場において、スワール中の水素噴流の燃焼過程の可視化に世界で初めて成功した。
- 混焼率が極めて低い条件においても、パイロット噴霧がスワールにより拡散し、水素噴流を安定的に着火できることを確認した。

今後の展望

- 対象燃料を水素に加えてアンモニアへ展開し、着火・燃焼安定性や排気生成の観点から、アンモニアの燃焼過程を評価する。
- 燃焼試験の実施およびデータの蓄積を行い、次世代燃料の燃焼シミュレーションの予測精度向上に活用可能なデータベースを構築する。